

IoT時代の無線通信インフラとその研究開発

三重大学工学部情報工学コース
情報ネットワーク工学講座
ネットワークセンシング研究室
成枝秀介

無線センサネットワークによるIoTシステム

□ センサネットワークとは？

センサをネットワークで相互に接続することにより多地点のセンシング情報を収集し，利活用するためのシステム，あるいはその通信路としてのネットワークを示す．

これの無線通信による実現 → 無線センサネットワーク（Wireless Sensor Network：WSN）

- 1980年頃から研究が開始．当初は有線接続による実現が主であったが，2000年頃より無線接続でのセンサネットワークに関する研究が活発化．
- 2002，2003年頃からは，WSNが無線通信システムのいち研究分野として位置付けられるようになる．WSN向けの標準化された通信プロトコルとして Zigbee（IEEE 802.15.4）が登場，通信距離は短いものの安価で低消費電力．
- 2010年代に入りIoTの概念・考え方が広まるにつれ，WSNがIoT実現のための通信インフラとして期待されている．

IoTとは？

□IoTとは？

Internet of Things（モノのインターネット）の略。

情報端末や機器に限らず，世の中のあらゆる「モノ」がインターネットにつながるための仕組み

※IoTという概念や言葉そのものは，結構前からあったようです。

□身の回りの「モノ」がインターネットに接続されると・・・

- あらゆる「モノ」が得る情報をリアルタイムに収集できる。
- ひとつの「モノ」からの情報は少ないかもしれないが，あらゆる「モノ」からの情報は膨大なものとなる
膨大な情報（ビッグデータ）を適切に解析することで，情報から新たな価値の創出が期待。

□様々な要素技術により，IoTシステムが成り立っている。

- 無線通信システム・ネットワーク技術
- AI・機械学習，統計科学
- セキュリティ，暗号技術
- 電気・電子回路，電気電子材料技術（バッテリー），電気機器工学（小型モーター），電気電子計測技術（ジャイロセンサ等の各種センサ）

無線接続？有線接続？

□ **有線接続**：通信機（送信機，受信機）間を通信ケーブル（メタル線，光ファイバ等）で接続し，その媒体を介して情報のやり取りを行う．

□ メリット ：通信の信頼性が高い，通信速度が高い．

□ デメリット ：通信ケーブルが必要であるため，配線が煩わしい（ケーブルが邪魔）
システムが現実的で無くなるケースが多い．

□ **無線接続**：通信機に電波を発するためのアンテナを備え，送信機と受信機がそれぞれのアンテナと空間を介して情報のやり取りを行う．

□ メリット ：ケーブル不要，人間様から見て使いやすい．

□ デメリット ：一般的にはバッテリー（電池）が必要．
有線と比べると，通信の信頼性が低く，通信速度も低い．

※ただ近年では，一人が使用する分にはある程度十分な通信速度を保つことができます（4G等）．

無線センサネットワークにおける研究課題・要素の例

□ 無線センサネットワーク設計・構築

- 最良な観測情報を得るために最小限必要な無線センサ，配置
- 通信エリア設計技術

□ 無線通信方式

- 数多くの無線センサが接続しているネットワーク内で良好な通信を実現できる通信方式
- より遠くまで通信可能な（通信エリア拡大）通信方式

□ 低消費電力化技術

- エナジーハーベスティング技術，これを前提とした通信プロトコル
- 無線通信方式そのものの低消費電力化

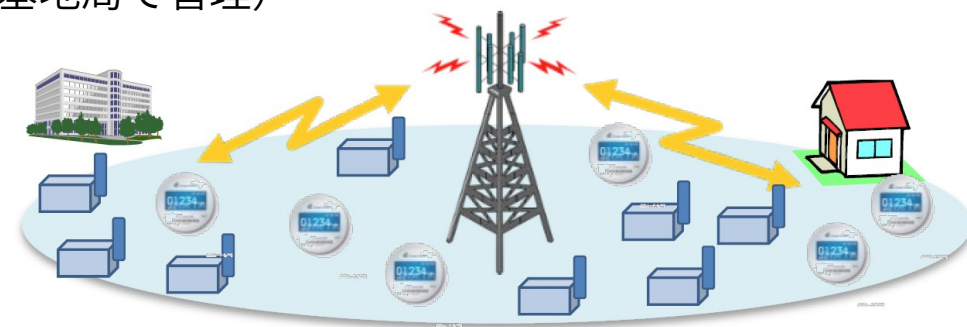
□ 無線センサネットワークでの統計科学・データ解析

- ビッグデータとしての観測情報処理．大量に得られる観測情報をどのように処理するか？
- 観測情報をどのように活用するか？

※情報工学コース提供科目をベースにすると，こんなところかな？ということです

IoTインフラとしての無線センサネットワーク

- IoT時代を支えるインフラ基盤としての無線通信システム．色々なモノ・場所に物理的な観測機能をもつ無線機を数多く配置し，様々な情報を収集・管理
- 数年度には世界中で約30億以上の無線センサがネットワークにつながり，その市場規模は1,000兆円程度．
- 将来的には，工場（製造工程管理やサプライチェーン管理）や都市部（スマートメータリングや環境モニタリングシステム），ウェアラブル（バイタル管理等）での利用が期待できる．
- アプリケーション例：
 - 街灯管理（周囲15km内の2万本以上の街灯の消費電力等を1台の基地局で管理）
 - 食の物流管理（食品の物流過程での品質管理）
 - 環境モニタリングシステム



総務省移動通信課：LPWAに関する無線システムの動向について，平成30年

LPWA無線ネットワークを用いたWSNの最適化に向けた研究

□ LPWA (Low Power Wide Area) 無線

その名の通り，低消費電力かつ長距離通信を実現できる通信方式

□ あまり大きなデータを送ることは出来ないが…

- WSNでは一つの無線センサから大容量データを送ることは無い.
- 低消費電力(バッテリーの持ちをよく), 長距離通信(通信エリアを広く)が重要なファクター.
※長距離通信という点がポイント
- 無線通信システムの多様化

□ LoRa, SigFox, NB-IoT・・・様々なLPWA無線通信規格. それぞれの規格に独自の特徴がある.

- LoRa (Long Range) : 3Gと似たような技術を使った無線通信方式. 自営無線構築可能
- SigFox : 狭帯域を使用した通信方式 (DBPSK) . 公衆無線サービス
- NB-IoT (Narrow Band-IoT) : 4Gと同様の通信方式だが, 高速通信不可. 通信事業者運用の公衆無線サービス

LPWA無線ネットワークを用いたWSNの最適化に向けた研究

1. 無線ネットワーク内での電波干渉低減技術

1. ネットワーク内に無線センサが増えると、パケット送信タイミングによっては無線信号同士が干渉し合い、通信を行えない。
2. LoRa通信では、通信の鍵となる「拡散率」を端末に適切に割り当てることで干渉回避可能。
3. AI（人工知能）技術を用いた電波干渉低減技術の開発

2. 無線センサの最適配置技術

1. WSNを用いた環境モニタリング（温湿度、気圧等）では、多数の無線センサが必要。
2. 「どこ」に「どれだけ」の無線センサを配置すればよいのか？
3. 観測対象に応じた無線センサ配置密度の実験的導出やAI技術による最適配置技術

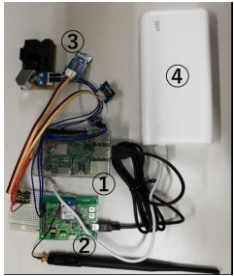
3. WSNの通信エリア設計・基地局配置技術

1. どの程度の大きさのネットワークを構築できるか？電波が届きやすいか？
2. 設置したい場所の電波伝搬特性を把握できる技術が必要
3. LPWA無線通信の電波伝搬モデル解析

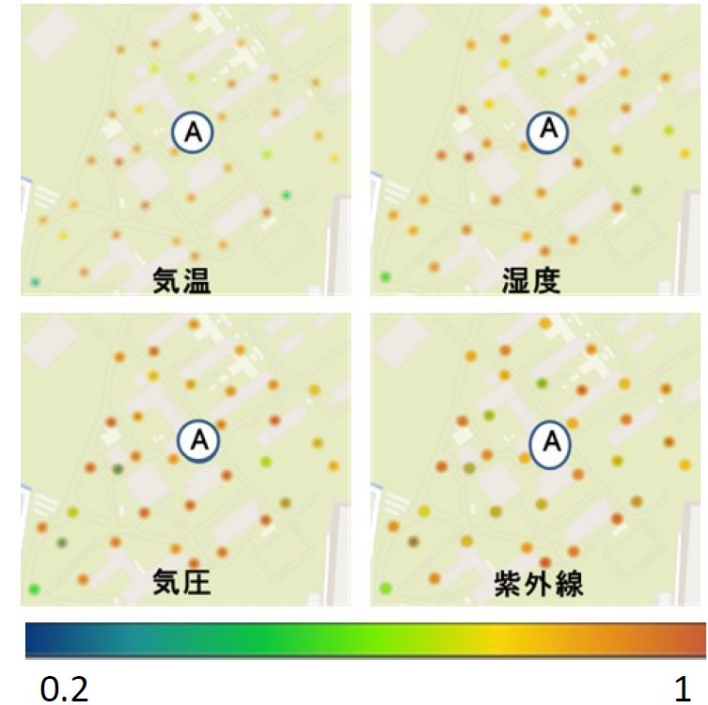
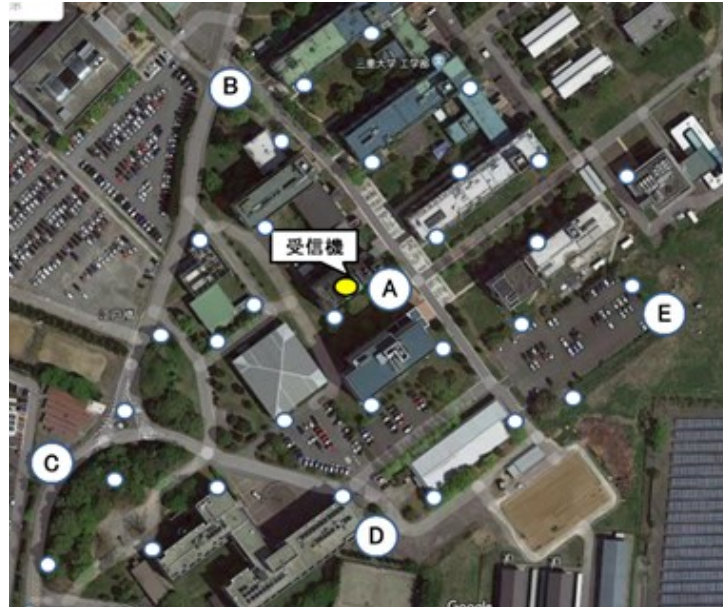
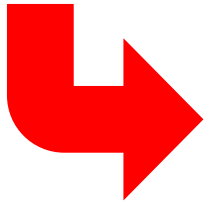
次項に上記2．と3．の研究結果例について示す（双方とも学生が取り組んだ研究結果）

920MHz帯LPWA通信での無線センサ最適配置に関する研究

- WSNを用いた環境モニタリングでは、多数の無線センサが必要。
- 「どこ」に「どれだけ」の無線センサを配置すればよいのか？
- 観測対象に応じた無線センサ配置密度の実験的導出



- LPWA通信モジュール
- Raspberry Pi 3 B+
- 観測用センサ
- モバイルバッテリー



無線センサを三重大学工学部内に配置し、
温湿度等の測定に必要な無線センサ配置密度等を実験的に導出

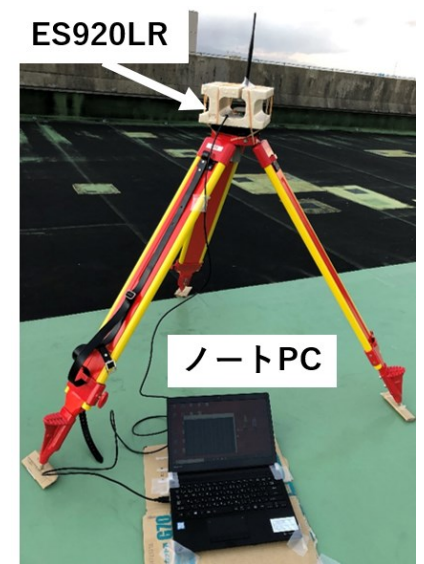
気圧・UVはセンサ間の地理的相関が高い。
これらに比べ、温湿度は地理的相関が低い。

920MHz帯LoRa通信の電波伝搬特性の評価

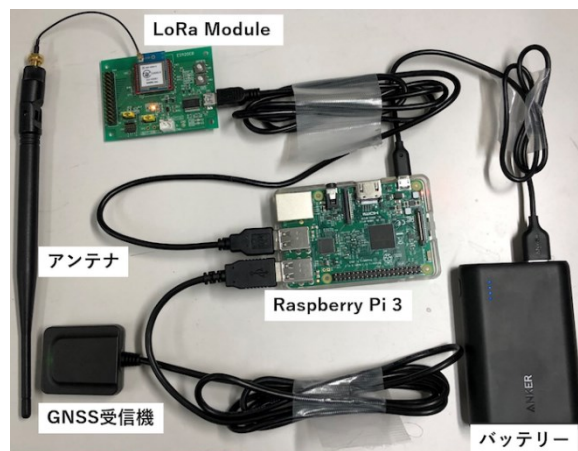
- 920MHz帯LoRa通信：見通し内では数km程度の通信エリアを持つ
- 三重大学上浜キャンパス内：見通し外通信のエリアが多い



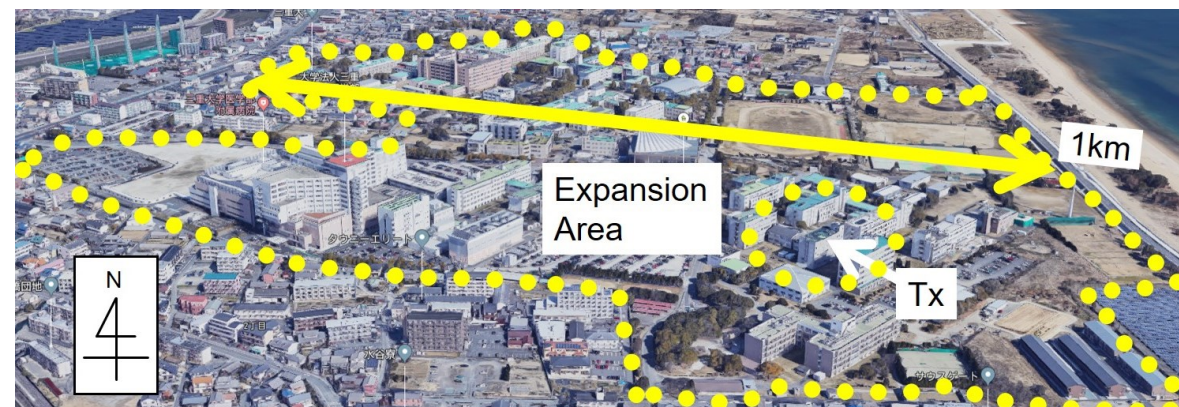
LoRa Module (無線機)



送信局：ココの屋上



受信局：自転車のカゴに入れる



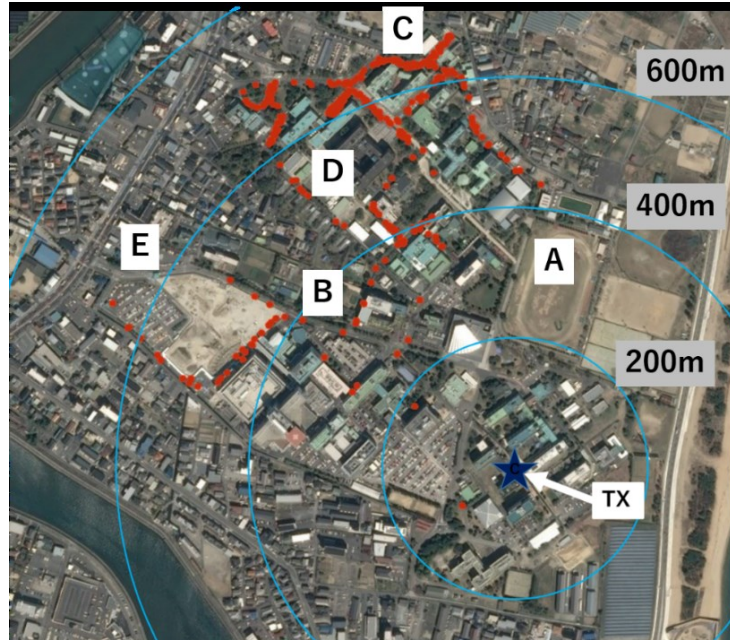
(a) Overview



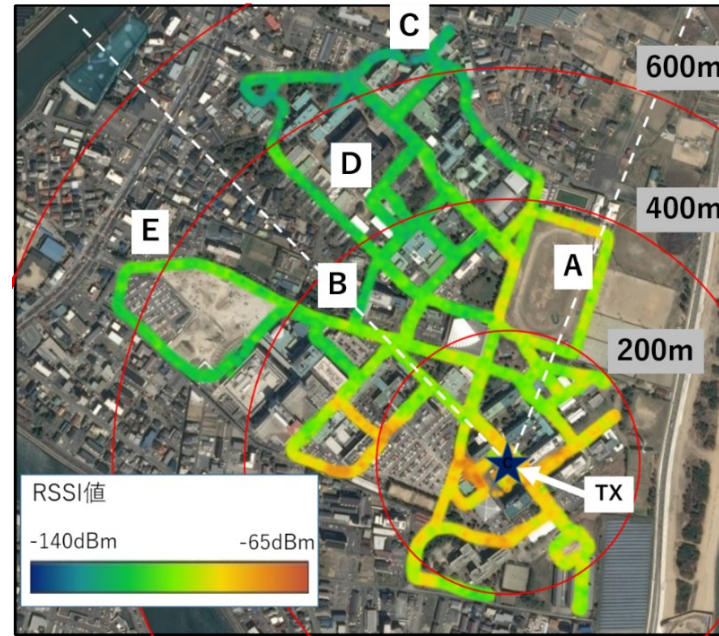
(b) Expansion area in (a)

920MHz帯LoRa通信の電波伝搬特性の評価

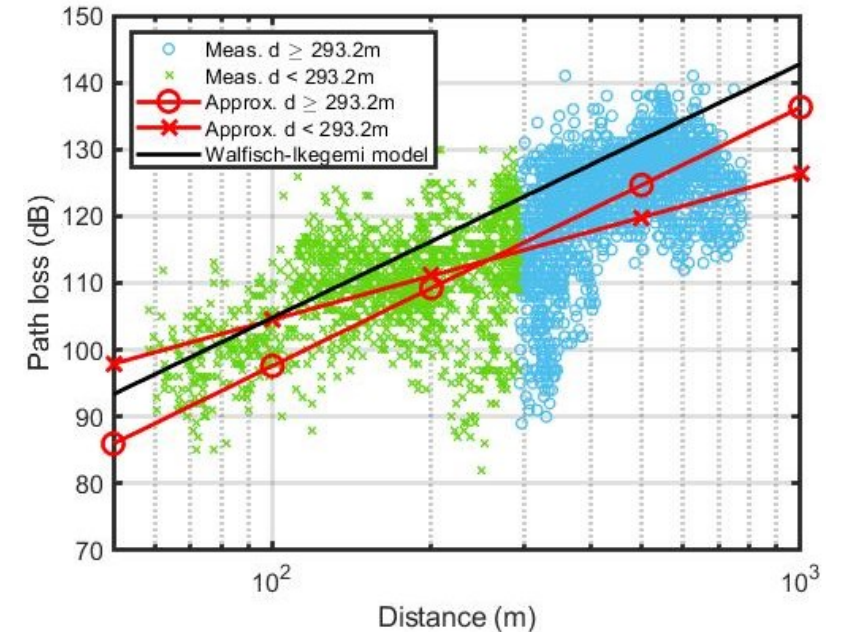
□ 自転車で三重大学上浜キャンパスをゆっくり走って測定



アウテージ地点



RSSIマップ



距離減衰特性

□ 三重大学内の電界強度マップ

□ 距離減衰特性が4Gでの電波伝搬特性 (Walfisch-Ikegamiモデル) と酷似

920MHz帯LoRa通信の半波長間隔での電波伝搬測定結果

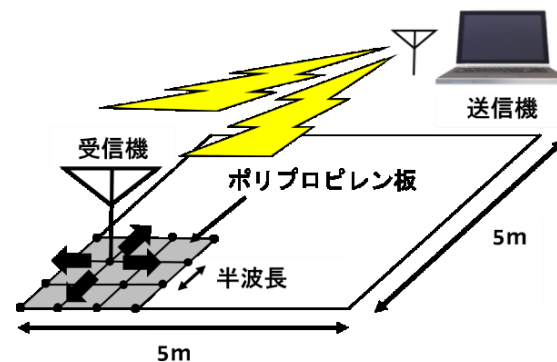
□ 無線センサネットワーク構築に向けたx m四方のメッシュ内での電波伝搬評価
※無線センサを平均受信電力値が高い区画に設置

□ 平均受信電力値の高いところにセンサを設置（固定）する
受信電力分布は未知．平均値は高くとも設置場所では電波が届きにくい可能性

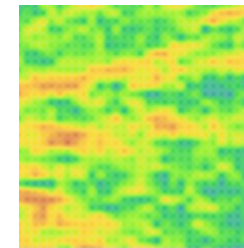
- 920MHz帯：免許不要な無線周波数帯
- WSN等のIoTシステムの通信インフラとして使用
- LPWA通信技術の一つ，LoRa通信を使用



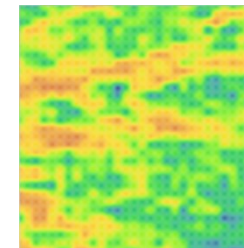
測定場所と送受信機設置場所



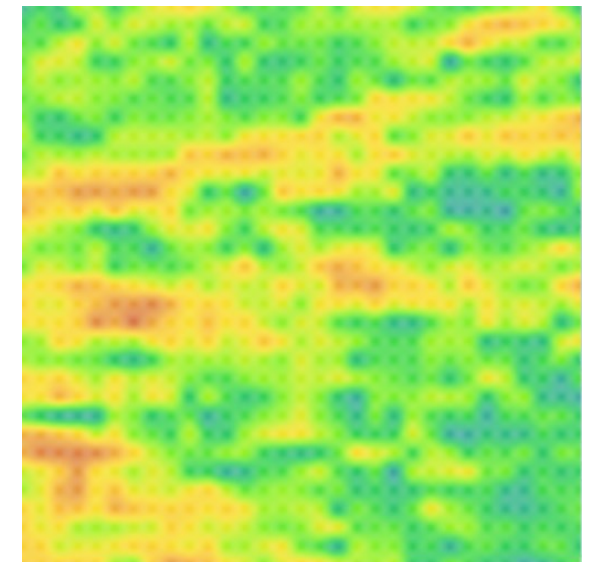
測定の全体像



測定結果1



測定結果2



平均受信電力マップ



5mメッシュ内での平均受信電力の分布例：最大約63倍（18dB）の受信電力差